ارزیابی بوم سازگاری سیستم‌های دیوارچینی رایج در ایران بااستفاده از روش TOPSIS *

هادی مددی قله‌زو [۱] محمدرضا توکلی‌زاده [۲] شهناز دانش [۳]

چکیده حفاظت از محیط زیست از ارکان مهم توسعهٔ پایدار است، به‌نحوی که رشد سیاسی و اقتصادی کشورها بدون توجه به آن، فاقد هرگونه ارزشی است. تحقیق حاضر با عنایت به نقش و جایگاه دیوارها در ساختمان‌سازی، به بررسی اثرات زیست‌محیطی سیستم‌های رایج دیوارچینی پرداخته‌است. برای این منظور هفت پارامتر زیست‌محیطی شامل «میزان مصرف انرژی در فرآیند ساخت»، «میزان مصرف منابع و مواد اولیهٔ دارای اهمیت»، «میزان مصرف آب در فرآیند ساخت و اجرای دیوار»، «میزان تولید CO_2 در نتیجهٔ مصرف انرژی در فرآیند ساخت»، «میزان مقاومت حرارتی دیوارهای ساخته شده»، «میزان تولید ضایعات و نخاله در نتیجهٔ اجرای دیوار» و «زیبایی حاصل از اجرا» به‌عنوان معیارهای ارزیابی در نظر گرفته شده‌اند؛ تا براساس آنها و به‌کمک روش تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ TOPSIS، پنج سیستم رایج دیوارچینی در ایران را مورد سنجش قرار گیرد و بوم سازگارترین سیستم مشخص شود. دیوارهای در نظر گرفته‌شده در این تحقیق شامل دیوارهای آجرفشاری، بلوک سفالی، بلوک بتن سبک AAC پانل مشبک سه‌بعدی و صفحات روکش‌دار گچی بوده‌اند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که از نظر متخصصان پاسخ‌دهنده به پرسش‌نامه‌ها، معیار «میزان مصرف آب» با ارزش نسبی ۰,۱۹۵ بیشترین اهمیت و معیار «زیبایی» با ارزش نسبی ۰,۰۴۹ کمترین اهمیت را دارند. باتوجه به نتایج تحقیق حاضر، سیستم دیوار چینی صفحات روکش‌دار گچی بیشترین و سیستم دیوار چینی پانل مشبک سه‌بعدی، کمترین سازگاری را با محیط‌زیست دارند.

واژه‌های کلیدی بوم سازگاری، دیوارهای ساختمانی، روش TOPSIS، معیارهای زیست محیطی.

Eco-Friendliness Evaluation of Separating Wall Systems in Iran Using TOPSIS Method

H. Madadi Ghollehzou M.Tavakkolizadeh S. Danesh

Abstract: *Environmental protection is one of the most important factors of sustainable development, so that the political and economic growth of countries, regardless of it, is worthless. Considering the role and position of separating walls in construction, the present study, has investigated the environmental effects of common separating wall systems in Iran. For this purpose, seven environmental parameters including: Energy Consumption in Construction Process, Consumption of Important Resources and Raw Materials, Water Consumption in Construction Process, CO_2 Production Due to Energy Consumption in the process of construction, the amount of thermal resistance of the walls, the amount of waste produced by the implementation of the walls and the beauty of the walls are considered as evaluation criteria. Regarding these criteria and using the TOPSIS method, this study evaluates the five most common separating wall systems in Iran and determine the most compatible eco-friendly system. Five different types of walls, including solid clay (SC) bricks, hollow clay (HC) blocks, autoclaved aerated concrete (AAC) blocks, three-dimensional (3D) sandwich panels and gypsum boards were investigated in this regard. The results show that according to experts, among the mentioned criteria, the criterion of "water consumption" with a relative value of 0.195 is the best and the criterion of "beauty" with a relative value of 0.049 is the least important. Thus, the results of this study, on the basis of all criteria, showed that the gypsum board has the most and the 3D sandwich panels has the least environmental compatibility.*

Key Words Eco-Friendly, Environmental criteria, Separating Wall Systems, TOPSIS Method.

* تاریخ دریافت مقاله ۱۳۹۹/۱۱/۱۴ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۰/۷/۲۵ از صفحه ۲۳ تا ۳۸ می‌باشد.

(۱) دانش آموختهٔ کارشناسی ارشد مهندسی محیط‌زیست، گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

(۲) نویسندهٔ مسئول: استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد Email: drt@um.ac.ir

(۳) استاد گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

مقدمه

ساختمان‌سازی به‌طور قابل‌توجهی برروی محیط زیست اثر می‌گذارد و عملیات ساختمانی بخش قابل توجهی از منابع طبیعی، انرژی و آب شیرین جهان را به مصرف می‌رسانند. به‌عنوان نمونه مصرف انرژی در کارخانه‌های تولید مصالح ساختمانی و فرآیند حمل‌ونقل آنها، مستقیما بر گرمایش جهانی، ایجاد باران‌های اسیدی و مه‌دود فتوشیمیایی اثرگذارند و مشکلات دفع پسماندها در نتیجهٔ تخریب و بازسازی ساختمان‌های قدیمی، از دیگر اثرات زیست‌محیطی این صنعت به‌شمار می‌روند [۱]. مطابق آمارها حدود ۳۰ الی ٤۰ درصد تولید گازهای گلخانه‌ای و ٤۰ تا ۵۰ درصد زباله‌های جهان به‌طور مستقیم و غیرمستقیم به صنعت ساختمان مربوط است [۲].

صنعت ساختمان در ایران یکی از صنایع مهم و اساسی محسوب می‌شود. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن وزارت راه و شهرسازی [۳] بیان می‌دارد که باتوجه به جوان بودن جمعیت ایران و با استناد به سند چشم‌انداز توسعه در افق ۱٤۰٤، زمانی کشور در حوزهٔ مسکن به توسعه‌یافتگی دست می‌یابد که شاخص تراکم خانوار در واحد مسکونی به یک برسد و هر خانوادهٔ ایرانی دارای یک مسکن باشد. برای رسیدن به این هدف دولت می‌بایست به‌مدت ۲۰ سال بستر تولید سالانه ۱/۵ میلیون واحد مسکونی را فراهم نماید.

فرآیند ساختمان‌سازی شامل اجرای بخش‌های مختلف و متنوع است. در این میان، دیوارچینی از مهم‌ترین این بخش‌ها است. دیوارها نقطهٔ تلاقی فعالیت‌های چهارگانهٔ عمرانی، الکتریکی، مکانیکی و معماری هستند و همین مسئله اهمیت آنها را هویدا می‌سازد. باتوجه به اولویت‌ها و سلایق مختلف سازندگان و مشتریان بازار، تولیدکنندگان انواع مختلفی از مصالح سازندهٔ دیوار را ارائه می‌کنند. این مصالح طیف گسترده‌ای از مصالح سنتی مانند آجرهای فشاری تا مصالح نوینی هم‌چون بلـوک‌های سبک بتنی و صفحات روکش‌دار گچی را در بر می‌گیرند. بدیهی است که تأثیرات زیست‌محیطی سیستم‌های گوناگون دیوارچینی یکسان نیست؛ اما چگونه و با چه راه‌کارهایی می‌توان بوم‌سازگارترین این سیستم‌ها را تعیین نمود؟ باتوجه به تنوع سیستم‌های موجود در بازار، فرآیند یافتن و برگزیدن گزینهٔ بهینهٔ زیست‌محیطی، اهمیت بالایی دارد. به همین دلیل فرآیند «انتخاب و مقایسهٔ گزینه‌ها» نیازمند تدوین و توسعهٔ معیارهایی است که با روش صحیح انتخاب شوند و مورد وزن‌دهی قرار گیرند.

از سوی دیگر فرآیند انتخاب با متغیرهای متعدد، امر پیچیده‌ای است. همواره در هر فرآیند انتخاب علاوه‌بر معیارهای کمی، مجموعه‌ای از معیارهای کیفی وجود دارند که امتیازدهی به گزینه‌های مختلف را دشوار می کنند. وجود این معیارها باعث شده که متخصصان به ایجاد و توسعهٔ روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره همت گمارند. این روش‌ها پیچیدگی‌های ناشی از تأثیر عوامل مختلف بر مسئله را با تمرکز بر این عوامل و ترکیب کردن نتایج حل می‌کنند. به‌طور کلی مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (Multiple Criteria Decision Making) به دو دستهٔ مدل‌های چند هدفه (Multiple Objective Decision Making) و مدل‌های چند معیاره (Multiple Attribute Decision Making) تقسیم می‌شوند. در میان مدل‌های چند معیاره، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP: Analytical Hierarchy Process) و تاپسیس (TOPSIS: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) از جمله روش‌هایی هستند که برای بررسی مسائل علوم مهندسی مناسبند. فرآیند حل مسئله در این روش‌ها به‌طور کلی تحت سه عمل «تبدیل معیارهای کیفی به کمی»، «بی‌مقیاس کردن معیارها» و «تعیین وزن‌های نسبی معیارها» انجام می‌شود.

هدف تحقیق. مطالعات کتابخانه‌ای نشان می‌دهند که علی‌رغم گستردگی دامنهٔ فعالیت‌های ساختمان‌سازی و نقش این صنعت در تخریب محیط زیست، محققان هنوز آن‌چنان که باید به بررسی این تأثیرات نپرداخته‌اند. از

طرف دیگر کاربرد روش‌های نوین تصمیم‌گیری در بخش ساختمانی، چندان مورد توجه قرار نگرفته‌است. هدف تحقیق حاضر مقایسهٔ انواع سیستم‌های رایج دیوارچینی از نظر میزان سازگاری با محیط زیست است؛ از همین رو به‌کمک روش تصمیم‌گیری چند معیارهٔ TOPSIS پنج سیستم رایج دیوارچینی در ایران، براساس هفت معیار زیست‌محیطی مورد سنجش قرار گرفته‌اند تا از میان آنها بوم‌سازگارترین گزینه تعیین گردد.

سوابق پژوهشی. از جمله پژوهش‌های انجام‌شده با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در صنعت ساختمان می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

مددی و همکاران [٤] در پژوهشی با در نظر گرفتن چهار معیار زیست‌محیطی، اقتصادی، فنی و اجرایی به‌کمک روش تحلیل سلسله‌مراتبی به ارزیابی و مقایسهٔ سیستم‌های رایج دیوارچینی در ایران پرداختند. دیوارهای در نظر گرفته‌شده در تحقیق مذکور شامل دیوارهای آجر فشاری، دیوارهای بلوک سفالی، دیوارهای بلوک سبک گازی، دیوارهای تریدی پانل، دیوارهای صفحات گچی روکش‌دار بودند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که صفحات روکش‌دار گچی بهترین و دیوارهای تریدی پانل بدترین گزینه در میان سیستم‌های رایج دیوارچینی در ایران هستند.

هلاکویی [٥] نیز با درنظر گرفتن هفت معیار شامل تعداد طبقات، قیمت ساخت، عایق صدا، مقاومت حرارتی، مقاومت رطوبتی، تعداد نفرات و تجهیزات و سهولت در اجرا، به مقایسهٔ چهار سیستم نوین دیوارچینی پرداخته‌است. سیستم‌های دیوارچینی LSF، ICF، 3D Panel و لیکا، گزینه‌های مورد ارزیابی در این تحقیق بودند. هلاکویی به‌منظور ارزیابی این گزینه‌ها، از روش AHP استفاده کرده و تمامی معیارها را به‌عنوان معیارهایی کیفی در نظر گرفته‌است. نتایج تحقیق او نشان می‌دهد که بلوک لیکا بهترین و LSF بدترین سیستم دیوارچینی در میان چهار سیستم مذکور و مطابق معیارهای در نظر گرفته‌شده هستند.

زارعی و همکاران [٦] در تحقیقی دیگر، بااستفاده از روش FAHP (تحلیل سلسله‌مراتبی فازی) سه نوع سیستم سقف ساختمانی نوین، شامل سقف کوبیاکس، سقف یوبوت و سقف با CLC را براساس هشت معیار و بدون در نظر گرفتن هیچ زیرمعیاری، مورد بررسی قرار دادند. این معیارها شامل سادگی اجرا، عمر جنس سازه، کاهش هزینه، تأمین مصالح، مقاومت دربرابر زلزله، اجرای سریع، عایق صوتی و انعطاف‌پذیری سازه بودند. در نهایت سقف یوبوت با وزن مطلق ۰/۱۸٤ به‌عنوان بهترین گزینه تعیین گردید.

ارجمند عسکری و خدادادی [۷] در تحقیق خود شش سیستم متداول سنتی و نوین درزمینهٔ اجرای دیوارهای ساختمانی شامل دیوار آجری، بلوک سفالی، بلوک لیکا، بلوک سبک گازی، پانل پیش‌ساختهٔ سه‌بعدی و پانل پیش‌ساختهٔ کناف را مورد مطالعه قرار دادند. آنها از معیارهای «هزینه»، «زمان»، «قابلیت اجرایی» و «ویژگی‌های فنی با رویکرد صنعتی‌سازی» برای ارزیابی و مقایسه استفاده نمودند. در نهایت به‌کمک روش TOPSIS این سیستم‌ها را رتبه‌دهی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که سیستم پانل پیش‌ساختهٔ کناف با ارزش ۰٫۳۱ بهترین و سیستم دیوار آجری با ارزش ۰٫۰۵ بدترین سیستم دیوارچینی هستند.

نامداری و همکاران [۸] در تحقیقی آثار زیست‌محیطی کوره‌های آجرپزی منطقه‌ای در اصفهان را بررسی کرده‌اند. آنها برای وزن‌دهی از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و برای رتبه‌بندی گزینه‌ها از روش TOPSIS استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که کارخانه‌هایی با سوخت مصرفی نفت، میزان ذرات معلق و مونواکسیدکربن دودکش بالاتری دارند. بررسی سنجش صوت نیز نشان داد که در مقایسه با استاندارد صدا در مناطق صنعتی، میانگین صوت در گزینه‌های مورد بررسی کمتر از مقدار استاندارد است.

مقصودلو و همکاران [۹] نیز در تحقیق خود بااستفاده

از دو تکنیک TOPSIS و تحلیل سلسله‌مراتبی به یافتن بهترین گزینهٔ مربوط به‌استفادهٔ مجدد از لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری از میان گزینه‌های استفاده در فضای سبز، استفاده در کشاورزی، تولید بیوگاز و بیابان‌زدایی پرداختند. آنها به‌منظور دست‌یابی به گزینهٔ بهینه از چهار معیار اصلی شامل فیزیکوشیمیایی، بیولوژیکی، اقتصادی ـ اجتماعی ـ فرهنگی و زیست‌محیطی استفاده کردند. در نهایت پس از آن‌که کارشناسان و خبرگان به‌وسیلهٔ روش دلفی و از طریق پرسش‌نامه‌ها به امتیازدهی معیارها و گزینه‌ها پرداختند؛ مشخص گردید که «استفاده از لجن در فضای سبز» بهترین گزینه برای کاربرد مجدد از لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب است.

مبانی و روش‌ها

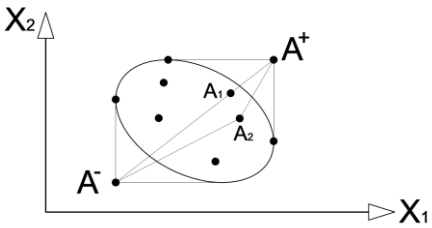
گزینه‌های مورد ارزیابی. باتوجه به اهمیت و میزان کاربرد در ساختمان‌سازی کشور، سیستم‌های دیوارچینی مورد ارزیابی شامل «آجر فشاری»، «بلوک‌های سفالی»، «بلوک‌های سبک گازی»، «پانل‌های سه‌بعدی» و «صفحات روکش‌دار گچی» بوده‌اند. به‌طور کلی در تعیین گزینه‌ها تلاش شده‌است تا به نسل‌های مختلف دیوارچینی شامل دیوارهای سنتی، نیمه‌مدرن و مدرن توجه شود.

روش TOPSIS برای ارزیابی گزینه‌ها. واژهٔ TOPSIS مخفف Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution به‌معنی روش‌های ترجیح براساس مشابهت به راه‌حل ایده‌آل است. این مدل توسط هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ پیشنهاد شد. در این روش m گزینه به‌وسیلهٔ n شاخص ارزیابی می‌شوند و هر مسئله را می‌توان به‌عنوان یک سیستم هندسی شامل m نقطه در یک فضای n بعدی در نظر گرفت.

اصول کلی روش TOPSIS این است که بااستفاده از گزینه‌های موجود، دو راه‌حل فرضی تعریف می‌شود و تعیین گزینهٔ بهینه از طریق آنها صورت می‌گیرد. منظور از این دو راه‌حل به‌ترتیب مجموعه‌ای از بهترین و بدترین مقادیر مشاهده‌شده در ماتریس تصمیم‌گیری است که به‌ترتیب به‌عنوان راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی شناخته می‌شوند.

گزینهٔ بهینه در این روش، گزینه‌ای است که کمترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل مثبت و در عین حال بیش‌ترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل منفی را داشته باشد [۱۰]. به‌عبارتی در رتبه‌بندی گزینه‌ها به این روش، گزینه‌هایی که بیشترین تشابه با راه‌حل ایده‌آل مثبت و کم‌ترین تشابه با راه‌حل ایده‌آل منفی را داشته باشند، رتبهٔ بالاتری کسب می‌کنند.

فضای هدف بین دو معیار فرضی X_1 و X_2، در شکل (۱) نشان داده شده‌است. در اینجا A^+ و A^- به‌ترتیب، راه‌حل ایده‌آل مثبت و راه‌حل ایده‌آل منفی هستند. چنان‌که مشاهده می‌گردد، گزینهٔ A_1 به نسبت گزینهٔ A_2 فاصلهٔ کمتری تا راه‌حل ایده‌آل مثبت و فاصلهٔ بیشتری تا راه‌حل ایده‌آل منفی دارد و لذا گزینهٔ برتری است.



شکل ۱ فضای هدف در روش TOPSIS

به‌طور کلی تصمیم‌گیری به‌روش TOPSIS مستلزم طی کردن گام‌های زیر است:

گام اول. آماده‌سازی ماتریس تصمیم.

گام دوم. به‌دست آوردن ماتریس بی‌مقیاس موزون (V).

گام سوم. تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی.

گام چهارم. به‌دست آوردن فاصلهٔ هر گزینه تا ایده‌آل‌های مثبت و منفی.

گام پنجم. تعیین نزدیکی نسبی (CL_i) یک گزینه به

راه‌حل ایده‌آل.

پارامترهای ارزیابی

هنگامی‌که از ارزش‌های زیست‌محیطی سخن به میان می‌آید، طیف گسترده‌ای از مسائل هم‌چون آلودگی هوا، آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی، آلودگی‌های صوتی و خاک، تخریب اکوسیستم‌های طبیعی و مصرف منابع به ذهن متبادر می‌شوند. این‌که کدام دسته از مسائل زیست‌محیطی، مبنای ارزیابی قرار گیرند، دارای اهمیت است. در نظر گرفتن مسائل غیرضروری و نامتناسب با واقعیت‌ها می‌تواند موجب کم‌ارزش شدن نتایج ارزیابی شود. از همین‌رو در تحقیق حاضر باتوجه به نیازها و شرایط بومی و اقلیمی کشور و ویژگی‌های صنعت ساختمان، و به‌منظور اجتناب از این نقص، ضمن بررسی و انجام مطالعات کتابخانه‌ای، بااستفاده از نظرات خبرگان حوزهٔ زیست‌محیطی، هفت پارامتر مشابه جدول (۱) به‌عنوان معیارهای ارزیابی در نظر گرفته شده‌اند.

جدول ۱ معیارهای ارزیابی

معیارهای کمی	۱- مصرف انرژی برای ساخت ۲- مصرف آب ۳- تولید CO_2 ٤- مقاومت حرارتی (میزان اتلاف انرژی)
معیارهای کیفی	۱- مصرف منابع و مواد اولیهٔ دارای اهمیت ۲- تولید ضایعات و نخاله در اجرای دیوار ۳- زیبایی حاصل از اجرا

مصرف انرژی برای ساخت. انرژی مصرفی به‌شکل انرژی الکتریکی و حرارتی، در مرحلهٔ تولید مصالح با هدف تأمین حرارت لازم فرآیندهای شیمیایی و به‌کار انداختن تجهیزات و در مرحلهٔ بهره‌برداری با هدف تأمین شرایط دمایی مطلوب و فراهم آوردن امکان راه‌اندازی وسایل الکتریکی و امکانات رفاهی، به‌کار برده می‌شود. در تحقیق حاضر برای ارزیابی انرژی حرارتی مرحلهٔ بهره‌برداری از معیار «میزان مقاومت حرارتی» و برای ارزیابی میزان انرژی فرآیند تولید از معیار «مصرف ویژهٔ انرژی برای ساخت» استفاده گردیده‌است.

الف- مصرف ویژهٔ انرژی. مصرف ویژهٔ انرژی معیاری جهانی است که برای مقایسهٔ میزان مصرف انرژی کارخانه‌های مختلف پذیرفته شده‌است و عبارت از آن میزان انرژی است که به‌ازای یک واحد تولید، مصرف می‌شود. مصرف ویژهٔ انرژی به‌صورت سه شاخص مصرف ویژهٔ انرژی حرارتی، مصرف ویژهٔ انرژی الکتریکی و مصرف ویژهٔ انرژی کل بیان می‌گردد.

ب- مصرف ویژهٔ انرژی کل گزینه‌ها. نحوهٔ اندازه‌گیری و محاسبهٔ مصرف انرژی حرارتی و الکتریکی یک کارخانه، براساس مدارک و مستندات صادرشده از مراجع رسمی مانند قبوض مربوط به حامل‌های انرژی برای دورهٔ ارزیابی، تعیین شده‌است؛ اما از آنجا که معمولاً مصرف ویژهٔ انرژی حرارتی و الکتریکی کارخانه‌های مختلف سازندهٔ یک محصول متفاوت است، در تحقیق حاضر برای تعیین این مقادیر، از استانداردها و معیارهای ملی، مانند ضوابط وزارت نیرو، سازمان استاندارد و... استفاده شده‌است. هم‌چنین در مواردی که ضوابطی در این زمینه موجود نیست، از روش اول استفاده گردیده‌است.

مصرف منابع و مواد اولیهٔ دارای اهمیت. منظور از منابع، موادی است که به‌صورت مستقیم از معادن در طبیعت استخراج می‌شوند و به‌عنوان مادهٔ اولیه در تهیه و تولید مصالح به‌کار گرفته می‌شوند. از جملهٔ این مواد و مصالح می‌توان به خاک‌های رسی، ماسه‌ها، آب، سنگ گچ، محصولات نفتی و مواد سیلیسی اشاره نمود. برای فراهم نمودن امکان ارزیابی و تعیین ارزش نسبی گزینه‌ها در ارتباط با این معیار، مواد شاخصی با سه ویژگی در نظر

گرفته شدند: «مواد شاخص نباید از نظر کمی در هیچ یک از گزینه‌ها برابر صفر باشند»، «مواد شاخص می‌بایست دارای اهمیت باشند» و «مواد شاخص می‌بایست از نظر کیفی در گزینهٔ مورد نظر دارای نقشی غیرقابل جبران و جایگزینی باشند» به‌عبارتی جزء مواد اصلی سازندهٔ گزینه‌ها باشند.

پس از مشخص شدن مواد تشکیل‌دهندهٔ هر گزینه، مادهٔ شاخص آن گزینه تعیین و با هم‌ارز گرفتن ارزش مادهٔ شاخص هر گزینه با آن گزینه، ارزش‌های نسبی محاسبه شدند.

الف- مادهٔ شاخص تشکیل‌دهندهٔ گزینه‌ها. باتوجه به مقادیر و میزان اهمیت مواد موجود در گزینه‌ها برای آجرهای فشاری و بلوک‌های سفالی «خاک رس»، بلوک‌های AAC «سیلیس»، پانل‌های سه‌بعدی «گرانول، مادهٔ اصلی پلی‌استایرن» و برای صفحات روکش‌دار گچی «گچ» به‌عنوان مواد شاخص سازنده در نظر گرفته شدند.

ب- تعیین زیرمعیار برای سنجش ارزش نسبی مواد شاخص. به‌منظور تعیین ارزش نسبی مواد شاخص، سه زیرمعیار در نظر گرفته شدند؛ این زیرمعیارها شامل «قابلیت استفاده از مواد شاخص در کشاورزی»، «خطر از بین رفتن منابع سازندهٔ مواد شاخص» و «قابلیت بازگشت به حالت اولیه در مواد ساخته‌شده از مواد شاخص» بودند.

مصرف آب. صنعت ساختمان از جمله بخش‌هایی است که مقدار فراوانی آب در آن مصرف می‌شود. این صنعت برخلاف بسیاری از صنایع، از آب نه‌تنها به‌عنوان ماده‌ای فرعی بلکه به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین مصالح مورد نیاز خود استفاده می‌کند، حتی گاهی آب را مهم‌ترین فرآوردهٔ خام ساختمانی می‌دانند [۱۱].

آب به‌عنوان مادهٔ اولیه در تولید مصالح سازندهٔ دیوارها نقش مستقیم دارد؛ به‌طوری‌که مقدار و کیفیت آن در ویژگی‌های مصالح تأثیر فراوانی خواهد داشت [۱۲].

علاوه‌بر این، همواره مقداری آب در مرحلهٔ برپایی دیوار به‌مصرف می‌رسد. بر همین اساس، آب مصرفی مربوط به هر یک از گزینه‌ها در دو بخش «آب مصرفی در فرآیند ساخت مصالح» و «آب مصرفی در مرحلهٔ برپایی دیوار» ارزیابی گردیده‌است. ارزش نسبی گزینه‌ها نیز پس از محاسبهٔ هر دو نوع آب مصرفی، از جمع جبری مقادیر این دو بخش حاصل شده‌است.

الف- آب مصرفی در فرآیند ساخت مصالح. منظور از آب مصرفی در فرآیند ساخت مصالح، مقدار آبی است که برای تولید واحد حجم هر کدام از گزینه‌ها در کارخانهٔ سازنده، به‌عنوان یکی از مواد اولیه، به مصرف می‌رسد.

ب- آب مصرفی در مرحلهٔ برپایی دیوار. در مرحلهٔ برپایی دیوار هم‌چون مرحلهٔ ساخت، برای انجام عملیات مونتاژ دیوار (سفت‌کاری) و اجرای اندودها و رویه‌های نهایی (نازک‌کاری) به آب نیاز است. آب جزء مهمی از ملات‌های سیمان و اندودهای خاک‌وگچ و گچ است. پس از تعیین قسمت‌های مختلف دیوار اجرا شده با هر کدام از گزینه‌ها، مقدار آب مصرفی مربوط به این قسمت‌ها محاسبه گردیده‌است.

تولید CO_2. از بزرگ‌ترین مسائل زیست‌محیطی جهان امروز، افزایش بیش از حد اثر گازهای گلخانه‌ای است. در میان انواع مختلف گازهای گلخانه‌ای، CO_2 از اهمیت بیشتری برخوردار است. محمودزاده و همکاران [۱۳] بیان می‌کنند که با وجود ناچیز بودن سهم ایران از کل CO_2 تولیدی جهان، میزان تولید این گاز به تولید ناخالص ملی در ایران، بسیار بالا و حدود ۸ برابر کشور آمریکا است.

نقش صنعت ساختمان در انتشار CO_2 را می‌توان به بخش‌هایی مانند «تهیه و تولید محصولات و مصالح»، «حمل و نقل از محل تولید تا مصرف»، «مصرف سوخت در مرحلهٔ برپایی ساختمان»، «مصرف سوخت در مرحلهٔ بهره‌برداری و مرحلهٔ تخریب و دفع مواد حاصل از آن»

تقسیم نمود. ارزیابی میزان انتشار کل این گاز در تمامی بخش‌های یک ساختمان به‌کمک روش‌های ارزیابی چرخهٔ طول عمر صورت می‌گیرد. در تحقیق حاضر برای تعیین ارزش نسبی گزینه‌ها در ارتباط با میزان تولید CO_2، بااستفاده از مقدار انرژی حرارتی و الکتریکی به‌کار گرفته‌شده در فرآیند ساخت هر گزینه، مقدار CO_2 معادل آن انرژی محاسبه شده‌است. به این ترتیب مقدار CO_2 منتشرشده در مرحلهٔ ساخت گزینه‌ها به‌دست آمده‌است. از طرف دیگر باتوجه به نقش مؤثر تولید سیمان در ایجاد و انتشار گاز CO_2 و تشابه تمام گزینه‌ها در استفاده از سیمان در مرحلهٔ برپایی دیوارهای خارجی، مقدار تولیدی این گاز در نتیجهٔ مصرف سیمان مربوط به برپایی دیوار نیز محاسبه و در جمع کل دخالت داده شده‌است.

مقاومت حرارتی. تنظیم درجهٔ حرارت فضای داخلی ساختمان‌های مسکونی برای تأمین آسایش ساکنان، اصلی‌ترین عامل مصرف بی‌رویهٔ انرژی است. براساس برآوردها میزان تبادل حرارتی از دیوارهای پیرامونی در ساختمان‌های مسکونی بین ۲۵٪ـ ۱۵٪ است [۱٤]. از آنجا که مواد و مصالح مختلف مقاومت‌های متفاوتی دربرابر انتقال حرارت از خود نشان می‌دهند، توجه به قابلیت انتقال حرارت در مصالح به‌کار گرفته‌شده برای اجرای این دیوارها دارای اهمیت ویژه‌است. در این معیار گزینه‌های مختلف مورد نظر برای اجرای دیوارهای خارجی از نظر میزان مقاومتشان دربرابر انتقال حرارت با یکدیگر مقایسه گردیده‌اند.

الف- مقاومت حرارتی. مقاومت حرارتی مقدار مقاومت در مقابل جریان حرارت در یک نوع مصالح یا ترکیبی از آنها با ضخامت معین است. مقاومت حرارتی هر نوع مصالح از تقسیم ضخامت آن بر ضریب هدایت حرارتی‌اش به‌دست می‌آید. هم‌چنین در مواردی که ترکیبی از چند نوع مصالح، مانند دیوارهای ساختمانی، وجود داشته باشد که به‌صورت لایه‌های موازی روی هم قرار گرفته‌اند، مقاومت کل، معادل جمع جبری مقاومت‌های اجزای مختلف آن خواهد بود [۱۳ و ۱۵].

ب- تعیین مقاومت حرارتی گزینه‌ها. باتوجه به جزئیات اجرای دیوارهای خارجی و هم‌چنین مقادیر مربوط به ضرایب مقاومت حرارتی گزینه‌های مختلف، میزان مقاومت دیوارهای خارجی اجراشده با هر کدام از گزینه‌ها محاسبه گردیده‌است.

تولید ضایعات و نخاله. ضایعات ساختمانی را می‌توان به نخاله‌های مربوط به مرحلهٔ استخراج مواد اولیه، ساخت و تولید، برپایی و اجرا، تخریب و جمع‌آوری و حمل‌ونقل میان بخش‌های مختلف (از تولید تا تخریب) تقسیم کرد. در تحقیق حاضر بررسی میزان ضایعات و نخاله‌ها تنها در مرحلهٔ برپایی و اجرای (استفاده از مصالح) دیوارها انجام گرفته‌است. از طرف دیگر برای انجام مقایسات این بخش، لازم است تعریف روشنی از ضایعات و نخاله ارائه شود. از آنجا که گزینه‌های مورد بررسی در ابعاد و شکل‌های مشخص تولید و عرضه می‌گردند، می‌توان نخاله و ضایعات را به دو شکل تعریف نمود: «قطعات و برش‌هایی که حین باراندازی و جابه‌جایی مصالح در کارگاه به‌وجود می‌آیند» یا «قطعات و برش‌هایی که به‌منظور اندازه کردن مصالح به‌منظور جانمایی و اجرای دیوار توسط اجرا کنندگان (مانند بنا) از مصالح جدا می‌شوند».

بدین ترتیب می‌توان از میزان تقریبی ضایعات تولیدی حاصل از باراندازی و جابه‌جایی‌های مصالح در کارگاه و هم‌چنین میزان ضایعات تولیدی درنتیجهٔ اجرای دیوارها آگاه شد. کارشناسان باتوجه به تجربهٔ کاری، ویژگی‌های عرضهٔ مادهٔ مورد نظر، چگونگی جابه‌جایی آن در کارگاه و هم‌چنین واقعیت‌های اجرایی قادرند تخمینی نزدیک به واقع از این ضایعات داشته باشند.

زیبایی. زندگی در میان دیوارهایی بدون آراستگی و

چشم‌نوازی، هرچند امنیت لازم برای رسیدن به آرامش روانی را فراهم می‌نماید اما هرگز مطلوبیت کافی برای لذت از زندگی را تأمین نمی‌کند. دیوارها به‌عنوان المان‌های اصلی فضاسازی در ساختمان‌های مسکونی، نقش مهمی در ایجاد تصویری زیبا از محیط بر عهده دارند. با عنایت به همین اهمیت است که «زیبایی» به‌عنوان معیاری مهم مورد توجه قرار گرفته‌است. از طرفی باتوجه به متکثر بودن مفهوم زیبایی در اذهان، می‌بایست برای دست یافتن به تعریفی مشترک ابتدا، زیرمعیارهایی برای آن در نظر گرفته شود. سؤال اساسی این است که وقتی گفته می‌شود: «دیواری از دیوار دیگر زیباتر است» منظور چیست؟ در تحقیق حاضر موارد سه گانه‌ای به‌عنوان مفهوم واقعی انتخاب دیوار زیباتر در نظر گرفته شده‌اند: «شاقولی بودن دیوار»، «گونیا بودن دیوار» و «داشتن سطح صاف و یک‌دست برای اجرای رنگ و پوشش دیوار».

ارزیابی گزینه‌ها براساس معیارها و زیرمعیارها

از آنجا که مطابق جدول (۱) تعدادی از معیارهای ارزیابی، پارامترهایی کیفی بودند؛ انجام مقایسه میان گزینه‌ها برمبنای آنها با طراحی و تدوین پرسش‌نامه‌هایی، مطابق روش دلفی، انجام گرفته‌است. برای این منظور نسخه‌های تحت وب پرسش‌نامه‌ها به آدرس الکترونیکی حدود هشتاد نفر از اساتید دانشگاه و صاحب‌نظران در سراسر کشور ارسال شد. همچنین نسخهٔ کاغذی این پرسش‌نامه‌ها در اختیار تعدادی از فعالان ساختمان‌سازی مانند مهندسان اجرایی، سرپرستان کارگاه، مسئولان دفاتر فنی و مهندسان نظام مهندسی استان خراسان قرار گرفت. در انتها بااستفاده از روش میانگین هندسی، برآیند نظرات مربوط به هر پرسش‌نامه محاسبه و به‌کار گرفته شد. در خصوص تعیین ارزش نسبی گزینه‌ها در ارتباط با معیارهای کمی از منابع علمی، دستورالعمل‌ها و نشریات رسمی نهادهای قانون‌گذار و اطلاعات میدانی استفاده شد.

محاسبهٔ ارزش نسبی معیارها. پس از جمع‌آوری پاسخ کارشناسان به پرسش‌نامه‌ها، درایه‌های ماتریس‌های مقایسهٔ زوجی و ارزش نسبی معیارها، مشابه جدول (۲) به دست آمده‌اند.

محاسبهٔ ارزش نسبی زیرمعیارها در ارتباط با معیارها. در محاسبهٔ درایه‌های ماتریس مقایسه‌های زوجی و ارزش‌های نسبی زیرمعیارهای «میزان مصرف منابع»، «میزان تولید ضایعات و نخاله» و «زیبایی» (جدول‌های ۳ تا ۵)، از پاسخ‌های کارشناسان به پرسش‌نامه‌های ارزیابی استفاده گردیده‌است.

محاسبهٔ ارزش نسبی گزینه‌ها در ارتباط با معیارها. براساس نتایج حاصل از پرسشنامه‌های معیارهای کیفی و محاسبات معیارهای کمی، ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی گزینه‌ها در هر کدام از معیارها مطابق جدول‌های (٦) تا (۱۲) به‌دست آمده‌است. لازم به توضیح است که جدول‌های (٦) و (۱۱) و (۱۲) مربوط به ارزش نسبی زیرمعیارهایی است که براساس درایه‌های ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی محاسبه شده‌اند.

همچنین درخصوص مقادیر جدول (۸) می‌بایست ذکر شود که باتوجه به صفر بودن مقدار آب مصرفی در فرآیند برپایی دیوارهای با صفحات روکش‌دار گچی، به‌منظور فراهم شدن امکان مقایسه با سایر گزینه‌ها، مقدار یک کیلوگرم آب در مترمربع دیوار برای این گزینه در نظر گرفته شده است

جدول ۲: ماتریس مقایسه‌های زوجی و ارزش‌های نسبی معیارها

معیارها	الف	ب	پ	ت	ث	ج	چ	ارزش نسبی
الف= مصرف انرژی	۱/۰۰۰	۱/۰۸۷	۱/۰۳۸	۱/۰۸۷	۰/۹۳۵	۱/۵۱۰	۳/۸۷۱	۰/۱۷۳
ب= مصرف منابع	۰/۹۲۰	۱/۰۰۰	۰/۸۸۳	۱/۱۳۰	۱/٤۷٤	۱/۸۹۲	۳/۵۵٤	۰/۱۸۱
پ= مصرف آب	۰/۹٦۳	۱/۱۳۳	۱/۰۰۰	۱/۳۳۷	۱/۳۹۰	۲/۱۲۵	۳/٦۷۰	۰/۱۹۵
ت= تولید CO_2	۰/۹۲۰	۰/۸۸۵	۰/۷٤۸	۱/۰۰۰	۱/۱۸۹	۱/۵۷٦	۳/۷٤۹	۰/۱٦۲
ث= مقاومت حرارتی	۱/۰٦۹	۰/٦۷۸	۰/۷۲۰	۰/۸٤۱	۱/۰۰۰	۱/۲۲۱	۲/۱۱۱	۰/۱۳٤
ج= تولید ضایعات	۰/٦٦۲	۰/۵۲۹	۰/٤۷۱	۰/٦۳٤	۰/۸۱۹	۱/۰۰۰	۲/٤۸۷	۰/۱۰٦
چ= زیبایی	۰/۲۵۸	۰/۲۸۱	۰/۲۷۲	۰/۲٦۷	۰/٤۷٤	۰/٤۰۲	۱/۰۰۰	۰/۰٤۹

جدول ۳: ماتریس مقایسه‌های زوجی و ارزش نسبی زیرمعیارهای مصرف منابع

زیرمعیارها	الف	ب	پ	ارزش نسبی
الف= قابلیت استفاده در کشاورزی	۱/۰۰۰	۰/۵۹۹	۰/٦٦۰	۰/۲۳۷
ب= خطر از میان رفتن منابع سازنده	۱/٦٦۹	۱/۰۰۰	۱/٤۷۳	۰/٤۳٦
پ= قابلیت بازگشت به حالت اولیه	۱/۵۱٦	۰/٦۷۹	۱/۰۰۰	۰/۳۲٦

جدول ٤: ماتریس مقایسه‌های زوجی و ارزش نسبی زیرمعیارهای تولید ضایعات

زیرمعیارها	الف	ب	پ	ارزش نسبی
الف= ضایعات ناشی از جابه‌جایی	۱/۰۰۰	۰/۳۸۵	۰/٤۱۷	۰/۱٦۷
ب= ضایعات ناشی از اجرا	۲/۵۹۵	۱/۰۰۰	۰/۸٦۸	۰/٤۰۲
پ= قابلیت استفاده‌ی مجدد از ضایعات	۲/۳۹۹	۱/۱۵۲	۱/۰۰۰	۰/٤۳۱

جدول ۵: ماتریس مقایسه‌های زوجی و ارزش نسبی زیرمعیارهای زیبایی

زیرمعیارها	الف	ب	پ	ارزش نسبی
الف= شاقولی بودن	۱/۰۰۰	۱/۱۹۷	۱/۰۱۵	۰/۳۵۵
ب= گونیا بودن	۰/۸۳۵	۱/۰۰۰	۰/۹۹۲	۰/۳۱۳
پ= داشتن سطح صاف و یکدست	۰/۹۸۵	۱/۰۰۸	۱/۰۰۰	۰/۳۳۲

جدول ٦: ماتریس مقایسه‌های زوجی گزینه‌ها از نظر مصرف انرژی جهت ساخت

گزینه‌ها	الف	ب	پ	ت	ث
الف= آجر فشاری	۱/۰۰۰	۰/۵۷۲	۱/۱٤۷	۰/۰٤۰	۰/۰۷۹
ب= بلوک سفالی	۱/۷٤۹	۱/۰۰۰	۲/۰۰۷	۰/۰۷۱	۰/۱۳۷
پ= بلوک AAC	۰/۸۷۱	۰/٤۹۸	۱/۰۰۰	۰/۰۳۵	۰/۰٦۸
ت= پانل سه‌بعدی	۲٤/۷۹۸	۱٤/۱۷۷	۲۸/٤۵۵	۱/۰۰۰	۱/۹٤۷
ث= صفحات روکش‌دار گچی	۱۲/۷۳۳	۷/۲۸۰	۱٤/٦۱۱	۰/۵۱۳	۱/۰۰۰

جدول ۷: ارزش‌های نسبی مواد شاخص در ارتباط با زیرمعیارهای میزان مصرف منابع

زیرمعیارها / مواد شاخص	قابلیت بازگشت به حالت اولیه	خطر از بین رفتن منابع سازنده	قابلیت استفاده در کشاورزی
خاک‌های رسی	۰/۴۷۹	۰/۳۰۲	۰/۴۸۹
خاک‌های سیلیسی	۰/۳۲۳	۰/۳۰۱	۰/۲۹۹
خاک‌های گچی	۰/۱۵۱	۰/۲۶۲	۰/۱۰۱
مواد پلیمری	۰/۰۴۷	۰/۱۳۵	۰/۱۰۲

جدول ۸: ماتریس مقایسه‌های زوجی گزینه‌ها از نظر مصرف آب

گزینه‌ها	الف	ب	پ	ت	ث
الف= آجر فشاری	۱/۰۰۰	۰/۵۸۰	۰/۳۷۳	۰/۸۳۵	۰/۰۰۹
ب= بلوک سفالی	۱/۷۲۵	۱/۰۰۰	۰/۶۴۳	۱/۴۴۱	۰/۰۱۵
پ= بلوک AAC	۲/۶۸۳	۱/۵۵۵	۱/۰۰۰	۲/۲۴۱	۰/۰۲۳
ت= پانل سه‌بعدی	۱/۱۹۷	۰/۶۹۴	۰/۴۴۶	۱/۰۰۰	۰/۰۱۰
ث= صفحات روکش‌دار گچی	۱۱۴/۷۵۵	۶۶/۵۰۹	۴۲/۷۷۴	۹۵/۸۴۹	۱/۰۰۰

جدول ۹: ماتریس مقایسه‌های زوجی گزینه‌ها از نظر تولید CO_2

گزینه‌ها	الف	ب	پ	ت	ث
الف= آجر فشاری	۱/۰۰۰	۰/۵۲۱	۱/۱۱۳	۰/۳۸۹	۰/۰۷۱
ب= بلوک سفالی	۱/۹۱۸	۱/۰۰۰	۲/۱۳۵	۰/۷۴۵	۰/۱۳۶
پ= بلوک AAC	۰/۸۹۸	۰/۴۶۸	۱/۰۰۰	۰/۳۴۹	۰/۰۶۴
ت= پانل سه‌بعدی	۲/۵۷۴	۱/۳۴۲	۲/۸۶۶	۱/۰۰۰	۰/۱۸۳
ث= صفحات روکش‌دار گچی	۱۴/۰۶۵	۷/۳۳۳	۱۵/۶۶۰	۵/۴۶۴	۱/۰۰۰

جدول ۱۰: ماتریس مقایسه‌های زوجی گزینه‌ها از نظر مقاومت حرارتی

گزینه‌ها	الف	ب	پ	ت	ث
الف= آجر فشاری	۱/۰۰۰	۰/۵۰۴	۰/۲۰۶	۰/۱۸۰	۰/۱۲۵
ب= بلوک سفالی	۱/۹۸۵	۱/۰۰۰	۰/۴۰۸	۰/۳۵۷	۰/۲۴۷
پ= بلوک AAC	۴/۸۶۰	۲/۴۴۸	۱/۰۰۰	۰/۸۷۳	۰/۶۰۶
ت= پانل سه‌بعدی	۵/۵۶۹	۲/۸۰۵	۱/۱۴۶	۱/۰۰۰	۰/۶۹۴
ث= صفحات روکش‌دار گچی	۸/۰۲۲	۴/۰۴۱	۱/۶۵۱	۱/۴۴۱	۱/۰۰۰

جدول ۱۱: ارزش نسبی گزینه‌ها از نظر زیرمعیارهای تولید ضایعات و نخاله

زیرمعیارها / گزینه‌ها	قابلیت استفاده‌ی مجدد از ضایعات	ضایعات ناشی از اجرا	ضایعات ناشی از جابه‌جایی
آجر فشاری	۰/۳۶۰	۰/۱۵۸	۰/۱۱۴
بلوک سفال	۰/۱۸۱	۰/۰۴۹	۰/۰۴۰
بلوک AAC	۰/۲۹۱	۰/۲۹۴	۰/۲۸۱
پانل سه‌بعدی	۰/۰۷۱	۰/۳۲۸	۰/۴۳۰
صفحات روکش‌دار گچی	۰/۰۹۷	۰/۱۷۰	۰/۱۳۵

جدول ۱۲: ارزش نسبی گزینه‌ها از نظر زیرمعیارهای زیبایی

زیرمعیارها / گزینه‌ها	داشتن سطح صاف و یکدست	گونیا بودن دیوار	شاقولی بودن دیوار
آجر فشاری	۰/۰۶۵	۰/۱۳۸	۰/۰۶۵
بلوک سفال	۰/۰۹۲	۰/۱۲۵	۰/۰۸۶
بلوک AAC	۰/۲۰۲	۰/۲۹۷	۰/۲۷۳
پانل سه‌بعدی	۰/۱۴۹	۰/۲۲۳	۰/۳۰۰
صفحات روکش‌دار گچی	۰/۴۹۳	۰/۲۱۷	۰/۲۷۷

تحلیل داده‌ها

ارزش نسبی گزینه‌ها در هر معیار را می‌توان به‌صورت شکل‌های (۲) و (۳) نشان داد. آنچه در این دو شکل قابل توجه است، ارزش نسبی پایین بلوک AAC نسبت‌به مصالح نوینی هم‌چون صفحات روکش‌دار گچی و پانل سه‌بعدی در معیار مصرف انرژی برای ساخت است. هر چند این اختلاف می‌تواند ناشی از واقعی بودن مقادیر مصرف انرژی در محاسبات مربوط به این گزینه و لحاظ شدن مقادیر مربوط به‌استانداردهای وزرات نیرو در محاسبات سایر گزینه‌ها باشد؛ اما محاسبات نشان می‌دهد که با وجود در نظر گرفتن ۳۰٪ مصرف انرژی بالاتر از استانداردها برای چهار گزینهٔ دیگر، تغییر قابل توجهی در رتبه‌بندی گزینه‌ها در این زیرمعیار به‌وجود نخواهد آمد.

نتایج مربوط به مصرف منابع و مواد اولیهٔ دارای اهمیت نشان می‌دهند که پانل سه‌بعدی علی‌رغم داشتن ارزش بالایی از نظر چالش‌آفرینی در امر کشاورزی نسبت‌به سایر گزینه‌ها، به‌دلیل ارزش پایین از نظر «خطر از بین رفتن منابع سازنده» و «قابلیت بازگشت به حالت اولیه» دارای کم‌ترین وزن در میان سایر گزینه‌ها است.

در این میان آجر فشاری با وجود مصرف بالای خاک‌های رسی، به‌دلیل ارزش نسبی اندک زیرمعیار «قابلیت استفاده در کشاورزی» نسبت‌به سایر زیرمعیارها، به‌عنوان بهترین گزینه معرفی گردیده‌است. هم‌چنین مشاهده می‌گردد که صفحات روکش‌دار گچی به‌دلیل عدم نیاز به اندودهای زیرکار و روکار، دارای کم‌ترین میزان مصرف آب و بالاترین امتیاز در ارتباط با معیار مصرف آب هستند. در خصوص معیار تولید CO_2 می‌توان گفت که علی‌رغم پایین‌تر بودن میزان مصرف انرژی در فرآیند ساخت پانل‌های سه‌بعدی و ارزش نسبی بالای آنها نسبت‌به صفحات روکش‌دار گچی از این نظر، به‌دلیل مصرف بالای سیمان در مرحلهٔ برپایی این دیوارها،

ارزش نسبی آنها از نظر میزان تولید CO_2 در مقایسه با صفحات روکش‌دار گچی بسیار پایین‌تر است.

ارزش نسبی گزینه‌ها از نظر میزان مقاومت حرارتی نشان می‌دهد که صفحات روکش‌دار گچی به‌دلیل استفاده از عایق‌های حرارتی در هستهٔ مرکزی، دارای بیش‌ترین مقاومت حرارتی و آجرهای فشاری به‌دلیل تبادل حرارتی بالا، دارای کم‌ترین مقاومت حرارتی هستند.

از سوی دیگر آجرهای فشاری و پانل‌های سه‌بعدی به‌دلیل دارا بودن قابلیت بالای استفادهٔ مجدد در کف‌سازی‌ها، بیشترین ارزش را نسبت‌به سایر گزینه‌ها در معیار تولید ضایعات به خود اختصاص داده‌اند.

ارزش‌های نسبی گزینه‌ها از نظر زیبایی نیز نشان از آن دارد که بلوک AAC، پانل سه‌بعدی و صفحات روکش‌دار گچی به‌دلیل داشتن ابعاد بزرگ‌تر نسبت‌به آجرهای فشاری و بلوک‌های سفالی، از نظر زیرمعیارهای زیبایی، دارای ارزش نسبی بالاتری هستند.

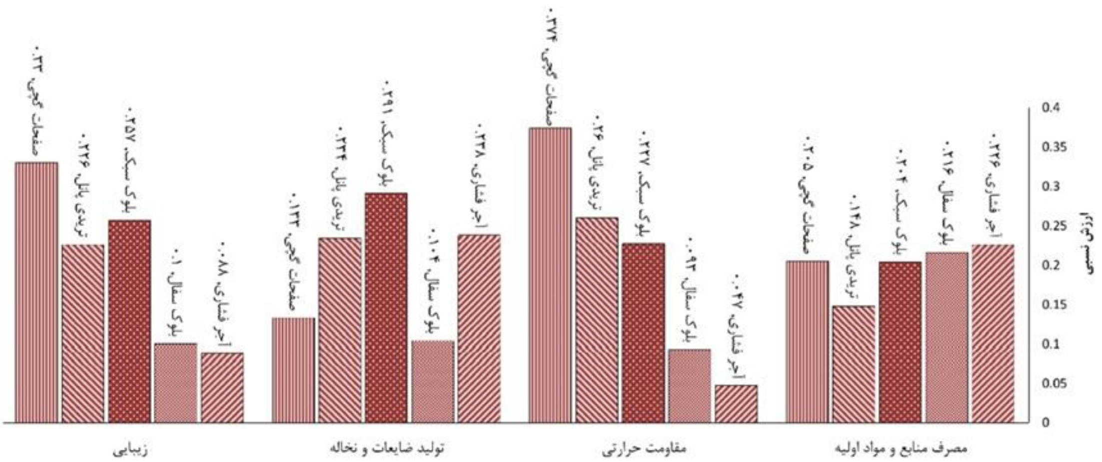
تعیین بوم‌سازگارترین گزینه

با مشخص شدن ارزش نسبی گزینه‌ها از نظر زیرمعیارها و زیرمعیارها در ارتباط با معیارها، ارزش نسبی گزینه‌ها از نظر معیارها و رتبه‌بندی آنها محاسبه گردیده‌است.

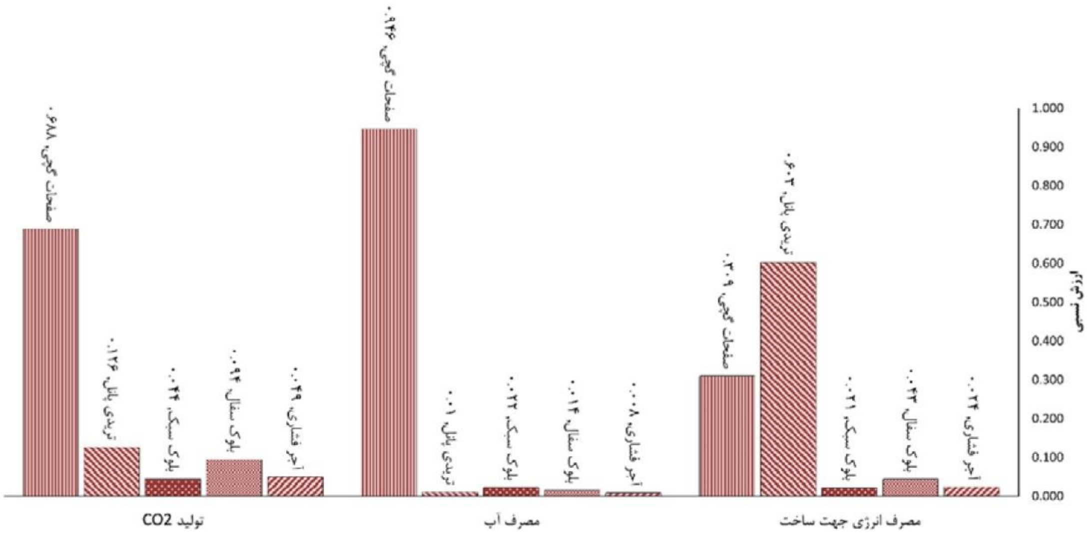
تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری (N_D). چنان‌که بیان گردید، برای تعیین گزینهٔ بهینه با روش TOPSIS در گام نخست لازم است که ماتریس تصمیم‌گیری، شامل تمامی زیرمعیارها و گزینه‌ها تشکیل گردد. برای این منظور بااستفاده از مقادیر حاصل از ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی و ارزش‌های نسبی گزینه‌ها، ماتریس تصمیم‌گیری (N_D) مشابه رابطهٔ (۱) تشکیل شده‌است.

تشکیل ماتریس بی‌مقیاس موزون (V). باتوجه به ارزش نسبی معیارها در ارتباط با هدف و زیرمعیارها در ارتباط با معیارها، ماتریس بردار وزن (W) برابر با مقادیر رابطهٔ (۲) تشکیل گردیده‌است. چنان‌که در این رابطه ملاحظه می‌شود، در ماتریس مربعی بردار وزن (W) به‌جز درایه‌های قطر اصلی سایر درایه‌ها برابر صفر هستند. با مشخص شدن مقادیر مربوط به ماتریس تصمیم‌گیری (**N_D**) و ماتریس بردار وزن (W)، ماتریس بی مقیاس موزون مشابه رابطهٔ (۳) تشکیل شده‌است.

تعیین گزینه‌های ایده‌آل مثبت (A^+) و ایده‌آل منفی (A^-). در مرحلهٔ برپایی ماتریس‌های مقایسات زوجی در تحقیق حاضر، پارامترهای با جنبهٔ منفی مانند مقدار مصرف آب و... به‌صورت معکوس و بر اساس ارزش بیشینه تکمیل گردیده‌اند.



شکل ۲ ارزش نسبی گزینه‌ها در هر معیار



شکل ۳ ارزش نسبی گزینه‌ها در هر معیار

$$N_D=\left[\begin{array}{cccc} ۰/۰۲۴ & ۰/۲۲۶ & ۰/۰۰۸ & ۰/۰۴۹ \\ ۰/۰۴۳ & ۰/۲۱۶ & ۰/۰۱۴ & ۰/۰۹۴ \\ ۰/۰۲۱ & ۰/۲۰۴ & ۰/۰۲۲ & ۰/۰۴۴ \\ ۰/۶۰۳ & ۰/۱۴۸ & ۰/۰۱۰ & ۰/۱۲۶ \\ ۰/۳۰۹ & ۰/۲۰۵ & ۰/۹۴۶ & ۰/۶۸۸ \end{array}\right.$$

$$\left.\begin{array}{ccc} ۰/۰۴۷ & ۰/۲۳۸ & ۰/۰۸۸ \\ ۰/۰۹۳ & ۰/۱۰۴ & ۰/۱۰۰ \\ ۰/۲۲۷ & ۰/۲۹۱ & ۰/۲۵۷ \\ ۰/۲۶۰ & ۰/۲۳۴ & ۰/۲۲۶ \\ ۰/۳۷۴ & ۰/۱۳۳ & ۰/۳۳۰ \end{array}\right] \qquad (۱)$$

$$W=[a_{ij}]\ ;\ if\ i=j: a_{ij}\neq ۰\ ;\ if\ i\neq j: a_{ij}=۰ \qquad (۲)$$

براساس محاسبات، مقادیر مربوط به گزینهٔ ایده‌آل مثبت (A^+) با انتخاب بیشترین مقدار در هر یک از ستون‌های ماتریس بی‌مقیاس موزون (V)، مشابه رابطهٔ (٤) و گزینهٔ ایده‌آل منفی (A^-) با انتخاب کمترین مقدار در هر ستون، مشابه رابطهٔ (٥)، تعیین گردیده‌است.

تعیین فاصلهٔ هر گزینه تا گزینه‌های ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی. جدول (۱۳) فاصلهٔ گزینه‌ها تا گزینه‌های ایده‌آل مثبت و منفی را نشان می‌دهد.

تعیین نمرات (نسبت نزدیکی به گزینهٔ ایده‌آل). نسبت نزدیکی هر کدام از گزینه‌ها تا گزینه‌های ایده‌آل (CL_i) مطابق مقادیر جدول (١٤) به‌دست آمده‌است.

جدول ۱۳ فاصلهٔ گزینه‌ها تا گزینه‌های ایده‌آل مثبت و منفی

گزینه‌ها (i)	d^+_i	d^-_i
آجر فشاری	۰/۲۳۷	۰/۰۲۰
بلوک سفالی	۰/۲۳۲	۰/۰١٦
بلوک AAC	۰/۲۳۲	۰/۰۳٤
پانل سه‌بعدی	۰/۲۰۵	۰/۱۰۷
صفحات روکش‌دار گچی	۰/۰٥٤	۰/۲۲۱

جدول ١٤ نسبت نزدیکی گزینه‌ها به گزینه‌های ایده‌آل

گزینه‌ها (i)	Cl_i
آجر فشاری	۰/۰۷۸
بلوک سفالی	۰/۰٦٦
بلوک AAC	۰/۱۲۸
پانل‌های سه‌بعدی	۰/۳٤۲
صفحات روکش‌دار گچی	۰/۸۰٥

$$V=\begin{bmatrix} ۰/۰۰۴۱۵۲ & ۰/۰۴۰۹۰۶ & ۰/۰۰۱۵۶۰ & ۰/۰۰۷۹۳۸ & ۰/۰۰۶۲۹۸ & ۰/۰۲۵۲۲۸ & ۰/۰۰۴۳۱۲ \\ ۰/۰۰۷۴۳۹ & ۰/۰۳۹۰۹۶ & ۰/۰۰۲۷۳۰ & ۰/۰۱۵۲۲۸ & ۰/۰۱۲۴۶۲ & ۰/۰۱۱۰۲۴ & ۰/۰۰۴۹۰۰ \\ ۰/۰۰۳۶۳۳ & ۰/۰۳۶۹۲۴ & ۰/۰۰۴۲۹۰ & ۰/۰۰۷۱۲۸ & ۰/۰۳۰۴۱۸ & ۰/۰۳۰۸۴۶ & ۰/۰۱۲۵۹۳ \\ ۰/۱۰۴۳۱۹ & ۰/۰۲۶۷۸۸ & ۰/۰۰۱۹۵۰ & ۰/۰۲۰۴۱۲ & ۰/۰۳۴۸۴۰ & ۰/۰۲۴۸۰۴ & ۰/۰۱۱۰۷۴ \\ ۰/۰۵۳۴۵۷ & ۰/۰۳۷۱۰۵ & ۰/۱۸۴۴۷۰ & ۰/۱۱۱۴۵۶ & ۰/۰۵۰۱۱۶ & ۰/۰۱۴۰۹۸ & ۰/۰۱۶۱۷۰ \end{bmatrix} \quad (۳)$$

$$A^{+}=\begin{bmatrix} ۰/۱۰۴۳۱۹ & ۰/۰۴۰۹۰۶ & ۰/۱۸۴۴۷۰ & ۰/۱۱۱۴۵۶ & ۰/۰۵۰۱۱۶ & ۰/۰۳۰۸۴۶ & ۰/۰۱۶۱۷۰ \end{bmatrix} \quad (٤)$$

$$A^{-}=\begin{bmatrix} ۰/۰۰۳۶۳۳ & ۰/۰۲۶۷۸۸ & ۰/۰۰۱۵۶۰ & ۰/۰۰۷۱۲۸ & ۰/۰۰۶۲۹۸ & ۰/۰۱۱۰۲۴ & ۰/۰۰۴۳۱۲ \end{bmatrix} \quad (۵)$$

نتیجه‌گیری

چنان‌که مشاهده شد، واقعیت‌های اقلیمی کشور ایران باعث شده‌است تا «میزان مصرف آب» با ارزش نسبی ۰,۱۹۵ بیشترین اهمیت را در میان هفت معیار زیست‌محیطی به خود اختصاص دهد. «زیبایی» نیز با ارزش نسبی ۰,۰٤۹ از نظر پاسخ‌دهندگان به پرسش‌نامه‌ها، دارای کم‌ترین درجه از اهمیت بوده‌است، مسئله‌ای که نشان از غلفت فعالان حوزهٔ ساختمان به جنبه‌های روحی و روانی بهره‌برداران دارد.

نتایج تحقیق نشان از آن دارد که سیستم‌های نوین دیوارچینی از نظر میزان مصرف انرژی، تولید CO_2 و مصرف آب، گزینه‌های بهتری هستند.

باتوجه به مقادیر به‌دست‌آمده در جدول (١٤)، نمرات نسبی گزینه‌ها به‌صورت شکل (٤) قابل ارائه است. چنان‌که در این شکل مشاهده می‌شود، صفحات روکش‌دار گچی و پانل‌های سه‌بعدی به‌ترتیب به‌عنوان بهترین و بدترین گزینهٔ دیوارچینی از نظر بوم‌سازگاری مشخص شده‌اند.

از سوی دیگر، براساس ارزش‌های نسبی محاسبه‌شده، سیستم‌های نوین دیوارچینی از نظر میزان مصرف منابع و مواد اولیه مزیت چشم‌گیری نسبت‌به سیستم‌های سنتی نداشته‌اند.

پانل‌های مشبک سه‌بعدی علی‌رغم امتیاز بالا در بسیاری از معیارها، به‌دلیل امتیاز اندک در دو معیار مهم «میزان مصرف انرژی» و «میزان مصرف آب» در مجموع پایین‌ترین امتیاز (برابر با ۰,۰۹) را کسب کردند. وزن نهایی گزینه‌های مورد بررسی شامل صفحات روکش‌دار گچی، پانل سه‌بعدی، بلوک سبک، بلوک سفالی و آجر فشاری به‌ترتیب برابر ۰,٤۲۲، ۰,۰۹، ۰,۱۵۷، ۰,۱٤۵ و ۰,۱۸۵ به‌دست آمد؛ به این ترتیب در نهایت مشخص گردید که صفحات روکش‌دار گچی بوم‌سازگارترین سیستم دیوارچینی از میان پنج سیستم مورد ارزیابی هستند.

مراجع

۱. اقبالی قاضی جهانی، الف.، و مکنون، ر.، «مقایسه و نمره‌دهی زیست‌محیطی، اقتصادی و سبک‌سازی سه سقف تیرچه با بلوک سفالی، سیمانی و یونولیتی از دیدگاه‌های ملی و بهره‌بردار»، چهاردهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران سراسر کشور، دانشگاه سمنان، (۱۳۸۷).
۲. قالیبافیان، م.، «بتن و محیط‌زیست»، فصل‌نامهٔ انجمن بتن ایران، ۱۱(۳)، (۱۳۸۲).

۳. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، «فناوری‌های نوین ساختمانی»، چاپ پنجم، وزارت مسکن و شهرسازی ایران، تهران، (۱۳۸۸).
٤. مددی قله‌زو، هـ .، دانش، ش.، و توکلی‌زاده، م.، «ارزیابی زیست‌محیطی، اقتصادی، فنی و اجرایی انواع سیستم‌های رایج دیوارچینی در ایران، بااستفاده از روش تحلیل سلسه‌مراتبی»، نشریهٔ مهندسی عمران امیرکبیر، ۵۲(۵)، صص. ۱– ۱۸، (۱۳۹۹).
۵. هلاکویی، ص.، «بررسی مقایسه‌ای مصالح ساخت دیوار بااستفاده از فناوری‌های نوین ICF، LSF، 3D و بلوک لیکا به‌منظور سبک‌سازی دیوار ساختمان‌ها بااستفاده از روش تصمیم‌گیری AHP" کنفرانس ملی عمران و معماری در مدیریت شهری قرن ۲۱، کرج، (۱۳۹۷).
٦. زارعی، ف.، کاظمینی، م. ج.، و مردانی، ب.، «تعیین مناسب‌ترین سقف ساختمانی بااستفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی»، سومین کنفرانس ملی مهندسی عمران، معماری و توسعهٔ شهری، مازندران، (۱۳۹٦).
۷. ارجمندعسکری، ع.، و سریزدی، م.، «ارزیابی فنی و اقتصادی روش‌های متداول اجرای دیوارهای ساختمانی با رویکرد صنعتی‌سازی بااستفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیارهٔ TOPSIS»، کنفرانس بین‌المللی مهندسی شهرسازی، عمران، معماری، قم، (۱۳۹۵).
۸. نامداری، ز.، رضائیان، س.، و جعفرزاده، ن.، «بررسی آثار زیست‌محیطی بهره‌برداری کارخانه‌های کوره‌های آجرپزی منطقهٔ قهاب شهرستان اصفهان»، مجلهٔ محیط‌شناسی، ۳۹(۳)، صص. ۱۱۷– ۱۳۲، (۱۳۹۲).
۹. مقصودلو کمالی، ب.، قانعیان، م.، و عبداللهی، ط.، «بهره‌مندی از مدل‌های TOPSIS و AHP درراستای بهینه‌سازی فرآیند تصمیم‌گیری استفادهٔ مجدد از لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری»، شانزدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تبریز، (۱۳۹۲).
۱۰. اصغرپور، م. ج.، «تصمیم‌گیری چند معیاره»، چاپ دهم، انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۹۰).
۱۱. دفتر برنامه‌ریزی و تدوین کتب درسی، «مجموعه کتاب‌های دورهٔ آموزش متوسطه (فنی و حرفه‌ای)»، چاپ‌های متعدد، وزارت آموزش و پرورش جمهوری اسلامی ایران، تهران، (۱۳۹۲).
۱۲. دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان برنامه و بودجه، «نشریهٔ شمارهٔ ۵۵: مشخصات فنی عمومی کارهای ساختمانی»، تجدید نظر دوم، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، تهران، (۱۳۸۳).
۱۳. محمودزاده، الف.، حقانی، ز.، و حاتمی‌پور، م. ص.، «برآورد میزان تقریبی تولید دی‌اکسید کربن، منابع و روش‌های بازیابی آن در ایران»، مجلهٔ مهندسی شیمی ایران، ۲٦(۵)، صص. ۵۵– ٦۳، (۱۳۸۵).
١٤. رمضانیان، م.، و بحرکاظمی، م.، «انتخاب مناسب‌ترین دیوار خارجی ساختمان جهت صرفه‌جویی در انرژی با تکنیک AHP»، نشریهٔ انرژی ایران، ١٤(۳)، صص. ۱۷– ۳۲، (۱۳۹۰).
۱۵. سرمد نهری، الف.، و کاردان، م.، «مرجع کامل شناخت مصالح ساختمانی»، چاپ دوم، انتشارات متفکران، تهران، (۱۳۸۸).